

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-260451

(43)Date of publication of application : 22.09.2000

(51)Int.Cl. H01M 8/04  
H01M 8/00  
H02M 7/48

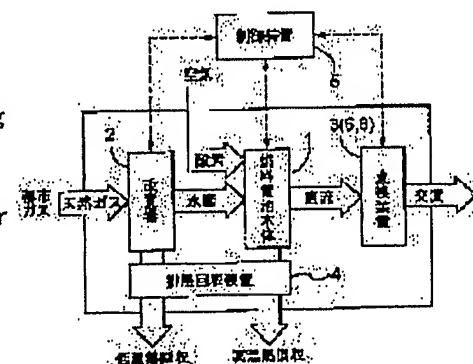
(21)Application number : 11-063219 (71)Applicant : KANSAI RESEARCH INSTITUTE  
(22)Date of filing : 10.03.1999 (72)Inventor : ABE MASAYUKI  
MATSUO HIROSHI

## (54) POWER GENERATION SYSTEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve overall energy efficiency of a power generation device comprising a fuel cell 1 for outputting D.C. power while generating thermal energy at a high temperature of 60° C or above during power generation, and a power conversion device provided with at least either an inverter for inverting the D.C. power into A.C. power or a converter for converting the voltage level of the D.C. power.

**SOLUTION:** A semiconductor element included in a conversion device 3 is of a type having a band gap larger than that of Si and operable in an ambient temperature of 55° C or above. More specifically, the conversion device 3 comprises a GaAs-based semiconductor element, InP-based semiconductor element, SiC semiconductor element or GaN-based semiconductor element, or a combination of those semiconductor elements.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3108686

[Date of registration] 08.09.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

24.07.2002

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-260451

(P2000-260451A)

(43)公開日 平成12年9月22日(2000.9.22)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 01 M 8/04  
8/00  
H 02 M 7/48

識別記号

F I  
H 01 M 8/04  
8/00  
H 02 M 7/48

テマコード(参考)  
N 5 H 0 0 7  
A 5 H 0 2 7  
Z

審査請求 有 請求項の数3 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平11-63219

(22)出願日 平成11年3月10日(1999.3.10)

(71)出願人 591167430

株式会社関西新技術研究所  
大阪府大阪市中央区平野町4丁目1-2

(72)発明者 安部 正幸

京都府京都市下京区中堂寺南町17 京都リ  
サーチパークサイエンスセンタービル 株  
式会社関西新技術研究所内

(72)発明者 松尾 博

京都府京都市下京区中堂寺南町17 京都リ  
サーチパークサイエンスセンタービル 株  
式会社関西新技術研究所内

(74)代理人 100107308

弁理士 北村 修一郎

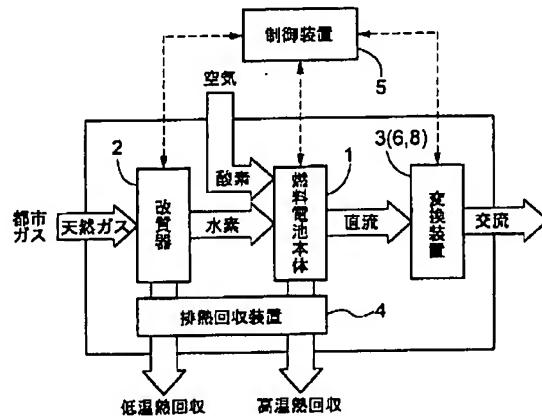
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 発電システム

(57)【要約】

【課題】 発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを發  
生しながら直流電力を输出する燃料電池1と、その直流  
電力を直交変換するインバータまたはその直流電力の電  
圧レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方  
を備えた変換装置3とを備えてなる発電システムの総合  
エネルギー効率を改善する。

【解決手段】 変換装置3に含まれる半導体素子がSi  
よりバンドギャップが大きい55°C以上の周囲温度で動  
作可能な半導体素子である。より具体的には、変換装置  
3がGaAs系半導体素子、InP系半導体素子、Si  
C半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれら  
半導体素子の組み合わせを備えてなる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 直流電力を出力する電池と、前記電池が  
出力した直流電力を直交変換して交流化するインバータ  
またはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータ  
の少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてな  
る発電システムであって、

前記電池が発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発  
生し、前記変換装置が55°C以上の周囲温度で動作可能  
な素子で構成されている発電システム。

【請求項2】 直流電力を出力する電池と、前記電池が  
出力した直流電力を直交変換して交流化するインバータ  
またはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータ  
の少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてな  
る発電システムであって、

前記変換装置に含まれる半導体素子がSiよりバンドギ  
ャップが大きい半導体素子である発電システム。

【請求項3】 前記変換装置がGaAs系半導体素子、  
InP系半導体素子、SiC半導体素子若しくはGaN  
系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備  
えてなる請求項1または2記載の発電システム。

【請求項4】 前記電池または前記変換装置の少なくと  
も何れか一方の動作を制御する制御装置を備え、前記制  
御装置がGaAs系半導体素子、InP系半導体素子、  
SiC半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれ  
ら半導体素子の組み合わせを備えてなる請求項3記載  
の発電システム。

【請求項5】 前記電池が燃料電池である請求項1、  
2、3または4記載の発電システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、燃料電池等の直  
流電力を出力する電池と、前記直流電力を直交変換して交  
流化するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを  
変換するコンバータの少なくとも何れか一方とを備えてな  
る発電システムに関し、具体的には、かかる発電シス  
テムのエネルギー効率の改善技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】この種の発電システムとして、天然ガス  
等の原燃料から水素を生成する改質器と、この改質器で  
生成された水素と空気中の酸素から水の電気分解の逆反  
応により高温を排熱するとともに直流電力を発電する燃  
料電池と、この燃料電池が発電した直流電力を直交変換  
して交流化するインバータと、前記燃料電池からの高温  
の排熱の熱エネルギーを回収する排熱回収装置とを備えた  
燃料電池発電システムがある。かかる燃料電池発電シ  
ステムは、硫黄酸化物SO<sub>x</sub>の排出がなく、また、窒素酸  
化物NO<sub>x</sub>の排出が極めて少なく、二酸化炭素CO<sub>2</sub>、  
騒音や振動が少なく、地球環境に優しい発電システムで  
あり、更に、発電効率が約40%と高く、また、発電効  
率と回収熱効率を合わせた総合エネルギー効率が約85%

と高く、エネルギーを有効利用ができるという素晴らしい  
特徴を有しており、新しいエネルギーとして注目されてい  
る。

【発明が解決しようとする課題】上述のインバータは一  
般にシリコン半導体からなるダイオードやトランジスタ等  
を使用した電子回路で構成されるため、インバータの  
動作温度の上限は、シリコン半導体素子の動作温度の上  
限で律速されることになる。シリコン半導体素子の定格  
動作における周囲温度は通常25°Cであり、一般的な民  
生仕様のシリコン半導体素子の定格動作における周囲温  
度の上限は55°Cである。ところで、燃料電池は発電時  
の化学反応で高温の排熱が発生するため、これを有効利  
用するため、上記したように排熱回収装置を設けて、温  
水や蒸気の形態で熱エネルギーを回収している。因みに、  
固体高分子型燃料電池の作動温度は60~120°Cであ  
り、リン酸型燃料電池では170~220°Cであり、溶  
融炭素塩型燃料電池では650°C、固体電解質型燃料電  
池では1000°Cと、更に作動温度が高温となってお  
り、高温の排熱を発生する。しかしながら、燃料電池の  
排熱は、上記の作動温度より明らかに通常60°C

以上の高温であるため、前記インバータがかかる高温に  
よって加熱されると正常動作できず、システム全体と  
して動作不良に陥ることになる。従って、前記インバータ  
を最悪でも60°C以下の周囲温度で動作させるため、前  
記インバータをかかる高温から遮断したり、冷却したり  
する処理を施すとともに、前記排熱回収装置において、  
高温の熱エネルギーを低温に冷却する処置がなされてい  
る。この冷却処理により、総合エネルギー効率が約5%は  
低下していると考えられる。

【0003】本発明は、上述の問題点に鑑みてなされたもの  
であり、その目的は、燃料電池等の直流電力を出力  
する電池と、前記電池が出力した直流電力を直交変換  
して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧  
レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方を  
備えた変換装置とを備えてなる発電システムの総合エネル  
ギー効率を改善する点にある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため  
の本発明に係る発電システムの第一の特徴構成は、特許  
請求の範囲の欄の請求項1に記載した如く、直流電力を  
出力する電池と、前記電池が出力した直流電力を直交変  
換して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧  
レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方を  
備えた変換装置とを備えてなる発電システムであって、  
前記電池が発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発  
生し、前記変換装置が55°C以上の周囲温度で動作可能  
な素子で構成されている点にある。

【0005】同第二の特徴構成は、特許請求の範囲の欄  
の請求項2に記載した如く、直流電力を出力する電池  
と、前記電池が出力した直流電力を直交変換して交流化

するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを交換するコンバータの少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてなる発電システムであって、前記変換装置に含まれる半導体素子がSiよりバンドギャップが大きい半導体素子である点にある。

【0006】同第三の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項3に記載した如く、上記第一または第二の特徴構成に加えて、前記変換装置がGaN系半導体素子、InP系半導体素子、SiC半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる点にある。

【0007】同第四の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項4に記載した如く、上記第三の特徴構成に加えて、前記電池または前記変換装置の少なくとも何れか一方の動作を制御する制御装置を備え、前記制御装置がGaN系半導体素子、InP系半導体素子、SiC半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる点にある。

【0008】同第五の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項5に記載した如く、上記第一、第二、第三または第四の特徴構成に加えて、前記電池が燃料電池である点にある。

【0009】以下に作用並びに効果を説明する。本発明に係る発電システムの第一の特徴構成によれば、前記変換装置が55°C以上の高温の周囲温度で動作可能となるため、前記電池が発電時に発生する60°C以上の高温の熱エネルギーを必要に冷却することなく高効率で有効利用でき、発電効率と熱回収効率を合わせた総合エネルギー効率を向上させることができるのである。また、前記変換装置の断熱または冷却処理等が簡略化できるため、前記変換装置を前記電池或いは熱回収装置に近接して設けることができ、発電システムとして一体化及び小型化が可能となるのである。

【0010】同第二の特徴構成によれば、後述するように、バンドギャップの大きな半導体素子ほどより高温動作が可能なため、前記変換装置の動作温度を律速している半導体素子の動作温度の上限をSi半導体素子を使用した従来の変換装置より改善でき、その結果、前記電池が発電時に発生する60°C以上の高温の熱エネルギーを従来に比較して必要に冷却することなく高効率で有効利用でき、発電効率と熱回収効率を合わせた総合エネルギー効率を向上させることができるのである。

【0011】同第三の特徴構成によれば、GaN系半導体素子、InP系半導体素子、SiC半導体素子またはGaN系半導体素子が55°C以上の高温の周囲温度で動作可能となるため、前記変換装置が60°C以上の高温で動作可能となり、上記第一または第二の特徴構成の場合と同様に、発電システムの総合エネルギー効率を向上させることができるのである。

【0012】以下にGaN系半導体素子、InP系半

導体素子、SiC半導体素子またはGaN系半導体素子が55°C以上の周囲温度で動作可能であることを定性的に説明する。半導体は伝導帯と価電子帯とに分離したエネルギー-band構造を有し、伝導帯と価電子帯間のバンドギャップE<sub>b</sub>の値によって半導体的性質を現し、半導体素子としてダイオード動作やトランジスタ動作を呈するわけである。ところが、バンドギャップE<sub>b</sub>は、大部分の半導体において、高温で狭くなり、その温度変化は数1で近似される。ここで、tは温度で、aは温度変化の係数である。

【0013】

$$[数1] dE_b / dt = -a \times 10^{-4} \text{ (eV/K)}$$

【0014】従って、高温ではバンドギャップE<sub>b</sub>が狭くなるとともに、大きな熱エネルギーを得て、自由電子が価電子帯から伝導帯へと容易に熱励起されるようになり、通常の半導体的性質を失い、ダイオードやトランジスタが正常動作しなくなる。常温で広いバンドギャップを有するGaN系半導体素子、InP系半導体素子、SiCやGaN系の半導体では、55°C以上の高温でもバンドギャップE<sub>b</sub>が大きく、それらで形成されたダイオードやトランジスタは十分に正常動作できるわけである。

【0015】同第四の特徴構成によれば、前記電池の入出力制御や前記変換装置の制御を行う制御装置を備えた発電システムにおいても、その制御装置を55°C以上の周囲温度下で高温動作可能とすることができますため、上記第一、第二または第三の特徴構成の場合と同様に、発電システムの総合エネルギー効率を向上させることができます。

【0016】同第四の特徴構成によれば、燃料電池発電システムの総合エネルギー効率を向上させることができるのである。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明に係る発電システムの一実施の形態を図面に基づいて説明する。図1に示すように、本発明に係る発電システムは、水素と酸素の供給を受けて直流電力を発生するリン酸型の燃料電池本体1と、前記燃料電池本体1に水素を供給するために都市ガス等から水素を生成する改質器2と、前記燃料電池本体1が outputする直流電力を直交変換して交流電力を発生する変換装置3と、前記改質器2と前記燃料電池本体1の排熱を蒸気や温水として回収する排熱回収装置4と、前記燃料電池本体1と前記改質器2と前記変換装置3の動作を制御する制御装置5とを備えた、一般的なリン酸型燃料電池システムと同じシステム構成である。

【0018】前記変換装置3は、例えば、100~200Vの正弦波交流を出力するPWM(パルス幅変調)インバータ6で構成されている。このPWMインバータ6の主回路7の基本構成は、図2に示すように、四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>, SW<sub>2</sub>, SW<sub>3</sub>, SW<sub>4</sub>からな

り、 $S_{W_1}$  と  $S_{W_2}$  がオン、 $S_{W_3}$  と  $S_{W_4}$  がオフの状態で正の半サイクル、 $S_{W_1}$  と  $S_{W_2}$  がオフ、 $S_{W_3}$  と  $S_{W_4}$  がオンの状態で負の半サイクルとなって、負荷に対して交流電流  $I_{AC}$  が流れる。ここで、各スイッチング素子  $S_{W_1}$ 、 $S_{W_2}$ 、 $S_{W_3}$ 、 $S_{W_4}$  に印加されるオン・オフの制御信号は、図3(イ)に示すようなパルス幅変調されたパルス信号であり、パルス幅に応じて電力量が制御され、ローパスフィルタを介して図3(ロ)に示すような正弦波の交流出力波形が得られる。

【0019】前記制御信号のスイッチング周波数は高周波ほど滑らかな正弦波形が得られるが、スイッチング損失が増大する。つまり、前記四つのスイッチング素子  $S_{W_1}$ 、 $S_{W_2}$ 、 $S_{W_3}$ 、 $S_{W_4}$  が瞬時に全てがオンする瞬間に貫通電流が流れるためである。これを回避すべく、回路中に共振回路を挿入して、電圧と電流の位相をずらすことにより、当該スイッチング損失を軽減する試みがあるが、共振リクトルでの損失分が増加する。従って、本質的な解決策として、前記四つのスイッチング素子  $S_{W_1}$ 、 $S_{W_2}$ 、 $S_{W_3}$ 、 $S_{W_4}$  のスイッチング速度の高速化が求められる。

【0020】そこで、本実施形態では、前記四つのスイッチング素子  $S_{W_1}$ 、 $S_{W_2}$ 、 $S_{W_3}$ 、 $S_{W_4}$  に、パンドギャップが2.8eVとSi半導体のバンドギャップの約2.5倍と広いSiC半導体からなるMOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)を使用する。このSiC-MOSFETは、オン抵抗が理論上Si-MOSFETより2桁小さく、現状の製造技術での結晶性の悪さを勘案しても4分の1程度となる。また、Si-MOSFETより高耐圧であるため、耐圧を確保しながらチャンネル長を短くできるため、上述の低オン抵抗と合わせてスイッチング速度の高速化が見込まれる。従って、SiC-MOSFETを使用することで、インバータ主回路におけるスイッチング損失を軽減でき、前記変換装置3の変換効率の改善が図れるのである。この場合、前記制御信号はSiC-MOSFETのゲートに入力される。

【0021】ところで、前記燃料電池本体1からは60°C以上の高温の排熱が発生するため、Si半導体を使用したインバータでは、動作温度が55°C以下となるように前記変換装置3の断熱処理や排熱の冷却処理を行う必要があったが、SiC-MOSFETの定格動作時の周囲温度の上限は300°Cと高温であるため、特別な断熱処理や不必要的排熱の冷却処理を行う必要がない。この場合、前記制御信号を発生する制御回路等の周辺回路もSiC半導体素子で構成する。これにより、前記変換装置3全体を55°C以上の高温下で動作させることができ、前記排熱回収装置4における排熱回収効率が改善でき、発電システム全体の総合エネルギー効率を向上することができるのである。また、SiC-MOSFET自体の放熱処理や冷却処理も小型の部品で済むため、前記交

換装置3の小型化も図れる。

【0022】以上、本発明の本旨は、前記変換装置3に使用する半導体素子として、ワイドバンドギャップのSiC半導体のMOSFET等を使用する点にある。従って、前記燃料電池本体1、前記改質器2、前記排熱回収装置4等は、本発明を実施する時点で使用可能なものを適宜選択して使用すればよい。例えば、前記燃料電池本体1はリン酸型燃料電池以外に固体高分子型燃料電池や固体電解質型燃料電池や溶融炭素塩型燃料電池等であって構わない。

【0023】次に、本発明に係る発電システムの別実施形態について説明する。

(1) 上記実施の形態では、前記四つのスイッチング素子  $S_{W_1}$ 、 $S_{W_2}$ 、 $S_{W_3}$ 、 $S_{W_4}$  に夫々SiC-MOSFETを使用したが、SiC-MOSFET以外にSiC半導体のIGBT(Insulated-Gate Bipolar Transistor)や、当該MOSFETと当該IGBTを並列接続したもの、当該MOSFETと還流ダイオードを逆並列接続したもの等であってもよい。また、ワイドバンドギャップ半導体素子として、SiC半導体の他にGaN系半導体素子を使用しても構わない。

【0024】(2) 前記制御装置5が本発電システムの前記燃料電池本体1と同じ筐体内の高温環境下に設置される場合は、前記変換装置3と同様に、SiC半導体素子またはGaN系半導体素子を使用して構成することにより、高温環境下に耐えることができ、システム全体の小型化が図れるのである。

【0025】(3) 前記変換装置3の他の実施例として、例えば、200Vの3相正弦波交流を出力するARCP形(補助共振転流ポール形)PWMインバータ8で構成されている。このARCP形PWMインバータ8の主回路9の構成は、図4に示すように、各相毎に補助共振回路を備えたスイッチ回路ユニット10を複数並列接続した構成となっている。ここで、主スイッチ  $S_1$ 、 $S_2$  はSiC-IGBTからなり各別に還流ダイオードを逆並列接続した構成とし、補助スイッチ  $S_{A1}$ 、 $S_{A2}$  はSiC-MOSFETからなり各別に整流ダイオードを直列接続したものを互いに逆並列接続した構成としており、何れも55°C以上の高温下で動作させることができ。尚、図4中、 $L_A$  は共振リクトルで、 $C_{A1}$ 、 $C_{A2}$  は共振コンデンサーで、 $C_1$ 、 $C_2$  は直流コンデンサーで直流入力電圧を分圧している。前記ARCP形PWMインバータ8の動作は、従来のSi半導体素子で構成したものと同様であるため説明は割愛する。尚、前記変換装置3に使用するインバータは上記したPWMインバータ6、8以外の方式のものであっても構わない。

【0026】(4) 上記実施の形態では、前記変換装置3として前記インバータ6、8を使用して前記燃料電池本体1が発生した直流電力を交流化して出力する発電システムであったが、前記インバータ6、8の代わりに、

直流電圧レベルを変換するコンバータを設けて、所定の直流電力を出力する発電システムであっても構わない。この場合、前記コンバータに使用される半導体素子が上記したSiC半導体素子またはGaN系半導体素子であればよい。また、前記変換装置3が、前記インバータ6、8と前記コンバータの両方を備え、直流電力と交流電力の両方を出力する形態であってもよい。

【0027】(5) 上記実施の形態では、直流電力発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発生する電池として前記燃料電池本体1と前記改質器2を備えてなる燃料電池を使用したが、本発明は、直流電力を発生する電池として燃料電池以外のものを使用したシステムにおいても適用でき、前記変換装置3が55°C以上の高温下で動作可能であるため排熱回収効率の改善が期待できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る発電システムの一実施の形態のシステム構成図

【図2】本発明に係る発電システムの一実施の形態におけるPWMインバータの主回路の基本回路構成の概念を\*

#### \*示す回路図

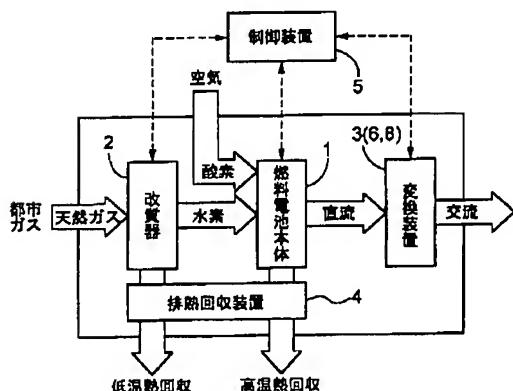
【図3】PWMインバータの制御信号波形(イ)と交流出力波形(ロ)を模式的に示す波形図

【図4】本発明に係る発電システムの別実施の形態におけるARCP形PWMインバータの主回路のスイッチ回路ユニットを示す回路図

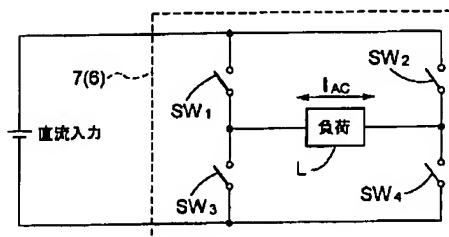
#### 【符号の説明】

|    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | 燃料電池本体                       |
| 2  | 改質器                          |
| 3  | 変換装置                         |
| 4  | 排熱回収装置                       |
| 5  | 制御装置                         |
| 6  | PWMインバータ                     |
| 7  | PWMインバータの主回路                 |
| 8  | ARCP形PWMインバータ                |
| 9  | ARCP形PWMインバータの主回路            |
| 10 | ARCP形PWMインバータの主回路のスイッチ回路ユニット |

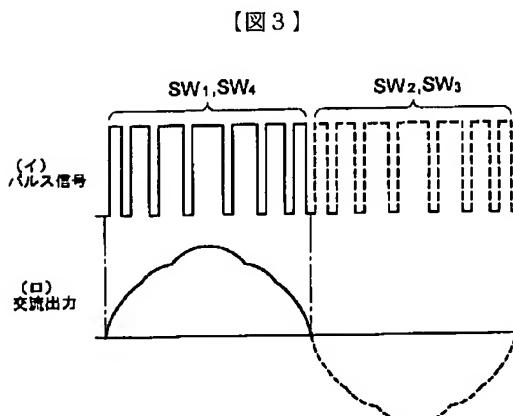
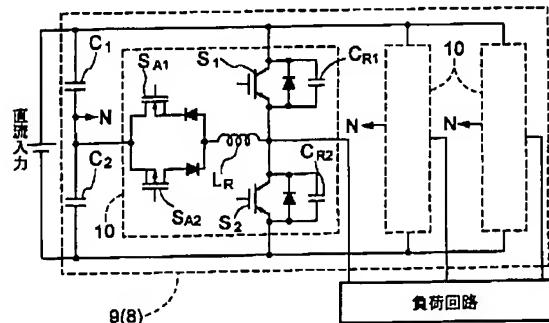
【図1】



【図2】



【図4】



## 【手続補正書】

【提出日】平成12年3月13日(2000.3.1  
3)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発電システム

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発生する燃料電池と、前記燃料電池が output した直流電力を直交変換して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてなる発電システムであって、前記変換装置に含まれる半導体素子がSiよりバンドギャップが大きい55°C以上の周囲温度で動作可能な半導体素子である発電システム。

【請求項2】 前記変換装置がGaAs系半導体素子、InP系半導体素子、SiC半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる請求項1記載の発電システム。

【請求項3】 前記燃料電池または前記変換装置の少なくとも何れか一方の動作を制御する制御装置を備え、前記制御装置がGaAs系半導体素子、InP系半導体素子、SiC半導体素子若しくはGaN系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる請求項2記載の発電システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発生する燃料電池と、前記燃料電池が output した直流電力を直交変換して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方とを備えてなる発電システムに関し、具体的には、かかる発電システムのエネルギー効率の改善技術に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 この種の発電システムとして、天然ガス等の原燃料から水素を生成する改質器と、この改質器で生成された水素と空気中の酸素から水の電気分解の逆反応により高温を排熱するとともに直流電力を発電する燃料電池と、この燃料電池が発電した直流電力を直交変換して交流化するインバータと、前記燃料電池からの高温の排熱の熱エネルギーを回収する排熱回収装置とを備えた燃料電池発電システムがある。かかる燃料電池発電システムは、硫黄酸化物SO<sub>x</sub>の排出がなく、また、窒素酸化物NO<sub>x</sub>の排出が極めて少なく、二酸化炭素CO<sub>2</sub>、

騒音や振動が少なく、地球環境に優しい発電システムであり、更に、発電効率が約40%と高く、また、発電効率と回収熱効率を合わせた総合エネルギー効率が約85%と高く、エネルギーを有効利用ができるという素晴らしい特徴を有しており、新しいエネルギーとして注目されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上述のインバータは一般にシリコン半導体からなるダイオードやトランジスタ等を使用した電子回路で構成されるため、インバータの動作温度の上限は、シリコン半導体素子の動作温度の上限で律速されることになる。シリコン半導体素子の定格動作における周囲温度は通常25°Cであり、一般的な民生仕様のシリコン半導体素子の定格動作における周囲温度の上限は55°Cである。ところで、燃料電池は発電時の化学反応で高温の排熱が発生するため、これを有効利用するため、上記のように排熱回収装置を設けて、温水や蒸気の形態で熱エネルギーを回収している。因みに、固体高分子型燃料電池の作動温度は60~120°Cであり、リン酸型燃料電池では170~220°Cであり、溶融炭素塩型燃料電池では650°C、固体電解質型燃料電池では1000°Cと、更に作動温度が高温となっており、高温の排熱を発生する。しかしながら、燃料電池の排熱は、上記の作動温度より明らかのように通常60°C以上の高温であるため、前記インバータがかかる高温によって加熱されると正常動作できず、システム全体として動作不良に陥ることになる。従って、前記インバータを最悪でも60°C以下の周囲温度で動作させるため、前記インバータをかかる高温から遮断したり、冷却したりする処理を施すとともに、前記排熱回収装置において、高温の熱エネルギーを低温に冷却する処置がなされている。この冷却処理により、総合エネルギー効率が約5%は低下していると考えられる。

【0004】 本発明は、上述の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発生する燃料電池と、前記燃料電池が output した直流電力を直交変換して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてなる発電システムの総合エネルギー効率を改善する点にある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 この目的を達成するための本発明に係る発電システムの第一の特徴構成は、特許請求の範囲の請求項1に記載した如く、発電時に60°C以上の高温の熱エネルギーを発生する燃料電池と、前記燃料電池が output した直流電力を直交変換して交流化するインバータまたはその直流電力の電圧レベルを変換するコンバータの少なくとも何れか一方を備えた変換装置とを備えてなる発電システムであって、前記変換装置に

含まれる半導体素子がS iよりバンドギャップが大きい55°C以上の周囲温度で動作可能な半導体素子である点にある。

【0006】同第二の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項2に記載した如く、上記第一の特徴構成に加えて、前記変換装置がG a A s系半導体素子、I n P系半導体素子、S i C半導体素子若しくはG a N系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる点にある。

【0007】同第三の特徴構成は、特許請求の範囲の欄の請求項3に記載した如く、上記第二の特徴構成に加えて、前記電池または前記変換装置の少なくとも何れか一方の動作を制御する制御装置を備え、前記制御装置がG a A s系半導体素子、I n P系半導体素子、S i C半導体素子若しくはG a N系半導体素子またはこれら半導体素子の組み合わせを備えてなる点にある。

【0008】以下に作用並びに効果を説明する。本発明に係る発電システムの第一の特徴構成によれば、後述するように、バンドギャップの大きな半導体素子ほどより高温動作が可能なため、前記変換装置の動作温度を律速している半導体素子の動作温度の上限をS i半導体素子を使用した從来の変換装置より改善でき、更に、前記変換装置に含まれる半導体素子が55°C以上の高温の周囲温度で動作可能となるため、前記燃料電池が発電時に発生する60°C以上の高温の熱エネルギーを不必要に冷却することなく高効率で有効利用でき、発電効率と熱回収効率を合わせた総合エネルギー効率を向上させることができるのである。また、前記変換装置の断熱または冷却処理等が簡略化できるため、前記変換装置を前記燃料電池あるいは熱回収装置に近接して設けることができ、発電システムとして一体化及び小型化が可能となるのである。

【0009】同第二の特徴構成によれば、G a A s系半導体素子、I n P系半導体素子、S i C半導体素子またはG a N系半導体素子が55°C以上の高温の周囲温度で動作可能であるため、前記変換装置が60°C以上の高温で動作可能となり、上記第一特徴構成の場合と同様に、発電システムの総合エネルギー効率を向上させることができるのである。

【0010】以下にG a A s系半導体素子、I n P系半導体素子、S i C半導体素子またはG a N系半導体素子が55°C以上の周囲温度で動作可能であることを定性的に説明する。半導体は伝導帯と価電子帯とに分離したエネルギー-band構造を有し、伝導帯と価電子帯間のバンドギャップE<sub>g</sub>の値によって半導体的性質を現し、半導体素子としてダイオード動作やトランジスタ動作を呈するわけである。ところが、バンドギャップE<sub>g</sub>は、大部分の半導体において、高温で狭くなり、その温度変化は数1で近似される。ここで、tは温度で、aは温度変化の係数である。

【0011】

【数1】  $d E_g / d t = -a \times 10^{-4}$  (eV/K)

【0012】従って、高温ではバンドギャップE<sub>g</sub>が狭くなるとともに、大きな熱エネルギーを得て、自由電子が価電子帯から伝導帯へと容易に熱励起されるようになり、通常の半導体的性質を失い、ダイオードやトランジスタが正常動作しなくなる。常温で広いバンドギャップを有するG a A s系半導体素子、I n P系半導体素子、S i CやG a N系の半導体では、55°C以上の高温でもバンドギャップE<sub>g</sub>が大きく、それらで形成されたダイオードやトランジスタは十分に正常動作できるわけである。

【0013】同第三の特徴構成によれば、前記燃料電池の入出力制御や前記変換装置の制御を行う制御装置を備えた発電システムにおいても、その制御装置を55°C以上の周囲温度下で高温動作可能とすることが可能となるため、上記第一または第二の特徴構成の場合と同様に、発電システムの総合エネルギー効率を向上させることができるのである。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明に係る発電システムの一実施の形態を図面に基づいて説明する。図1に示すように、本発明に係る発電システムは、水素と酸素の供給を受けて直流電力を発生するリン酸型の燃料電池本体1と、前記燃料電池本体1に水素を供給するために都市ガス等から水素を生成する改質器2と、前記燃料電池本体1が出力する直流電力を直交変換して交流電力を発生する変換装置3と、前記改質器2と前記燃料電池本体1の排熱を蒸気や温水として回収する排熱回収装置4と、前記燃料電池本体1と前記改質器2と前記変換装置3の動作を制御する制御装置5とを備えた、一般的なリン酸型燃料電池システムと同じシステム構成である。

【0015】前記変換装置3は、例えば、100～200Vの正弦波交流を出力するPWM(パルス幅変調)インバータ6で構成されている。このPWMインバータ6の主回路7の基本構成は、図2に示すように、四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>、SW<sub>2</sub>、SW<sub>3</sub>、SW<sub>4</sub>からなり、SW<sub>1</sub>とSW<sub>2</sub>がオン、SW<sub>3</sub>とSW<sub>4</sub>がオフの状態で正の半サイクル、SW<sub>1</sub>とSW<sub>2</sub>がオフ、SW<sub>3</sub>とSW<sub>4</sub>がオンの状態で負の半サイクルとなって、負荷Lに対して交流電流I<sub>ac</sub>が流れ。ここで、各スイッチング素子SW<sub>1</sub>、SW<sub>2</sub>、SW<sub>3</sub>、SW<sub>4</sub>に印加されるオン・オフの制御信号は、図3(イ)に示すようなパルス幅変調されたパルス信号であり、パルス幅に応じて電力量が制御され、ローパスフィルタを介して図3(ロ)に示すような正弦波の交流出力波形が得られる。

【0016】前記制御信号のスイッチング周波数は高周波ほど滑らかな正弦波形が得られるが、スイッチング損失が増大する。つまり、前記四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>、SW<sub>2</sub>、SW<sub>3</sub>、SW<sub>4</sub>が瞬時に全てがオンする瞬間に貫通電流が流れるためである。これを回避すべ

く、回路中に共振回路を挿入して、電圧と電流の位相をずらすことにより、当該スイッチング損失を軽減する試みがあるが、共振リクトルでの損失分が増加する。従って、本質的な解決策として、前記四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>，SW<sub>2</sub>，SW<sub>3</sub>，SW<sub>4</sub>のスイッチング速度の高速化が求められる。

【0017】そこで、本実施形態では、前記四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>，SW<sub>2</sub>，SW<sub>3</sub>，SW<sub>4</sub>に、バンドギャップが2.8eVとSi半導体のバンドギャップの約2.5倍と広いSiC半導体からなるMOSFET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）を使用する。このSiC-MOSFETは、オン抵抗が理論上Si-MOSFETより2桁小さく、現状の製造技術での結晶性の悪さを勘案しても4分の1程度となる。また、Si-MOSFETより高耐圧であるため、耐圧を確保しながらチャンネル長を短くできるため、上述の低オン抵抗と合わせてスイッチング速度の高速化が見込まれる。従って、SiC-MOSFETを使用することで、インバータ主回路におけるスイッチング損失を軽減でき、前記変換装置3の変換効率の改善が図れるのである。この場合、前記制御信号はSiC-MOSFETのゲートに入力される。

【0018】ところで、前記燃料電池本体1からは60°C以上の高温の排熱が発生するため、Si半導体を使用したインバータでは、動作温度が55°C以下となるように前記変換装置3の断熱処理や排熱の冷却処理を行う必要があったが、SiC-MOSFETの定格動作時の周囲温度の上限は300°Cと高温であるため、特別な断熱処理や不必要的排熱の冷却処理を行う必要がない。この場合、前記制御信号を発生する制御回路等の周辺回路もSiC半導体素子で構成する。これにより、前記変換装置3全体を55°C以上の高温下で動作させることができ、前記排熱回収装置4における排熱回収効率が改善でき、発電システム全体の総合エネルギー効率を向上することができるるのである。また、SiC-MOSFET自体の放熱処理や冷却処理も小型の部品で済むため、前記変換装置3の小型化も図れる。

【0019】以上、本発明の本旨は、前記変換装置3に使用する半導体素子として、ワイドバンドギャップのSiC半導体のMOSFET等を使用する点にある。従って、前記燃料電池本体1、前記改質器2、前記排熱回収装置4等は、本発明を実施する時点で使用可能なものを適宜選択して使用すればよい。例えば、前記燃料電池本体1はリン酸型燃料電池以外に固体高分子型燃料電池や固体電解質型燃料電池や溶融炭素塩型燃料電池等であっても構わない。

【0020】次に、本発明に係る発電システムの別実施形態について説明する。

（1）上記実施の形態では、前記四つのスイッチング素子SW<sub>1</sub>，SW<sub>2</sub>，SW<sub>3</sub>，SW<sub>4</sub>に夫々SiC-MO

SFETを使用したが、SiC-MOSFET以外にSiC半導体のIGBT（Insulated-Gate Bipolar Transistor）や、当該MOSFETと当該IGBTを並列接続したもの、当該MOSFETと還流ダイオードを逆並列接続したもの等であってもよい。また、ワイドバンドギャップ半導体素子として、SiC半導体の他にGaN系半導体素子を使用しても構わない。

【0021】（2）前記制御装置5が本発電システムの前記燃料電池本体1と同じ筐体内の高温環境下に設置される場合は、前記変換装置3と同様に、SiC半導体素子またはGaN系半導体素子を使用して構成することにより、高温環境下に耐えることができ、システム全体の小型化が図れるのである。

【0022】（3）前記変換装置3の他の実施例として、例えば、200Vの3相正弦波交流を出力するARCP形（補助共振転流ポール形）PWMインバータ8で構成されている。このARCP形PWMインバータ8の主回路9の構成は、図4に示すように、各相毎に補助共振回路を備えたスイッチ回路ユニット10を複数並列接続した構成となっている。ここで、主スイッチS<sub>1</sub>，S<sub>2</sub>はSiC-IGBTからなり各別に還流ダイオードを逆並列接続した構成とし、補助スイッチS<sub>A1</sub>，S<sub>A2</sub>はSiC-MOSFETからなり各別に整流ダイオードを直列接続したものを互いに逆並列接続した構成としており、何れも55°C以上の高温下で動作させることができる。尚、図4中、L<sub>a</sub>は共振リクトルで、C<sub>R1</sub>，C<sub>R2</sub>は共振コンデンサで、C<sub>1</sub>，C<sub>2</sub>は直流コンデンサで直流入力電圧を分圧している。前記ARCP形PWMインバータ8の動作は、従来のSi半導体素子で構成したものと同様であるため説明は割愛する。尚、前記変換装置3に使用するインバータは上記したPWMインバータ6，8以外の方式のものであっても構わない。

【0023】（4）上記実施の形態では、前記変換装置3として前記インバータ6，8を使用して前記燃料電池本体1が発生した直流電力を交流化して出力する発電システムであったが、前記インバータ6，8の代わりに、直流電圧レベルを変換するコンバータを設けて、所定の直流電力を出力する発電システムであっても構わない。この場合、前記コンバータに使用される半導体素子が上記したSiC半導体素子またはGaN系半導体素子であればよい。また、前記変換装置3が、前記インバータ6，8と前記コンバータの両方を備え、直流電力と交流電力の両方を出力する形態であってもよい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る発電システムの一実施の形態のシステム構成図

【図2】本発明に係る発電システムの一実施の形態におけるPWMインバータの主回路の基本回路構成の概念を示す回路図

【図3】PWMインバータの制御信号波形（イ）と交流

出力波形(図)を模式的に示す波形図

【図4】本発明に係る発電システムの別実施の形態におけるARC形PWMインバータの主回路のスイッチ回路ユニットを示す回路図

【符号の説明】

1 燃料電池本体

2 改質器

3 変換装置

\* 4 排熱回収装置

5 制御装置

6 PWMインバータ

7 PWMインバータの主回路

8 ARC形PWMインバータ

9 ARC形PWMインバータの主回路

10 ARC形PWMインバータの主回路のスイッ

\* チ回路ユニット

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 5H007 AA03 AA06 CA02 CB05 CC01

CC07 EA02

5H027 AA04 AA06 BA01